

МОЛЕКУЛЫ ВОКРУГ V645 CYG

А. Д. Гималиева¹, С. В. Салий¹, М. С. Кирсанова^{1,2}

¹Уральский федеральный университет, ²Институт астрономии РАН

В работе исследовалось излучение линий молекул на длинах волн 3–4 мм в направлении молодой звезды типа Ae/Be Хербига V645 Cyg. Получены карты интегральных интенсивностей линий переходов молекул ^{13}CO , C^{18}O , CS, C^{34}S , HCO^+ , HNC, CH_3OH , N_2H^+ и HCN и исследована кинематика облака вокруг звезды. Проведены оценки лучевых концентраций и обилий 23 молекул. Показано, что астрохимические особенности в V645 Cyg соответствуют смеси двух сред на луче зрения: темного плотного облака и области фотодиссоциации.

MOLECULES AROUND V645 CYG

A. D. Gimalieva¹, S. V. Salii¹, M. S. Kirsanova^{1,2}

¹Ural Federal University, ²Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences

In this work we studied the 3–4 μm radiation of a clump around young Ae/Be star V645 Cyg. We built molecular line emission maps for ^{13}CO , C^{18}O , CS, C^{34}S , HCO^+ , HNC, HCN, N_2H^+ and CH_3OH . We estimated column densities and abundances of 23 molecules and found that we observe a mixture of dark cloud and photodissociation region towards V645 Cyg.

Введение

Звезды типа Ae/Be Хербига — это молодые (≤ 10 млн лет) звезды до главной последовательности промежуточной массы (2–10 M_{\odot}). В оптическом диапазоне звезды данного типа имеют спектры, характерные для звезд спектральных классов A и B, но с эмиссионными линиями, чаще всего в линиях серий водорода. В ИК-области у таких звезд наблюдается избыток излучения, что указывает на наличие околозвездного вещества и остатков родительского молекулярного облака вокруг них. Изучение молекулярного газа, окружающего объекты этого типа, дает возможность связать между собой представления о химической эволюции массивных и маломассивных протозвезд.

Наблюдения и методы исследования

Наблюдения проводились в декабре 2016 г., феврале 2017 г. и марте 2019 г. на 20-м телескопе Онсала (Швеция). Обработка данных наблюдений проводилась в пакете GILDAS (<https://www.iram.fr/IRAMFR/GILDAS/>).

Для определения характеристик молекулярного газа было использовано предположение о локальном термодинамическом равновесии (ЛТР), поскольку сложные молекулы образуются и излучают в молекулярных облаках с высокой плотностью. Оценка температуры возбуждения газа проводилась методом вращательных диаграмм, подробно описанном, например, в работе [1].

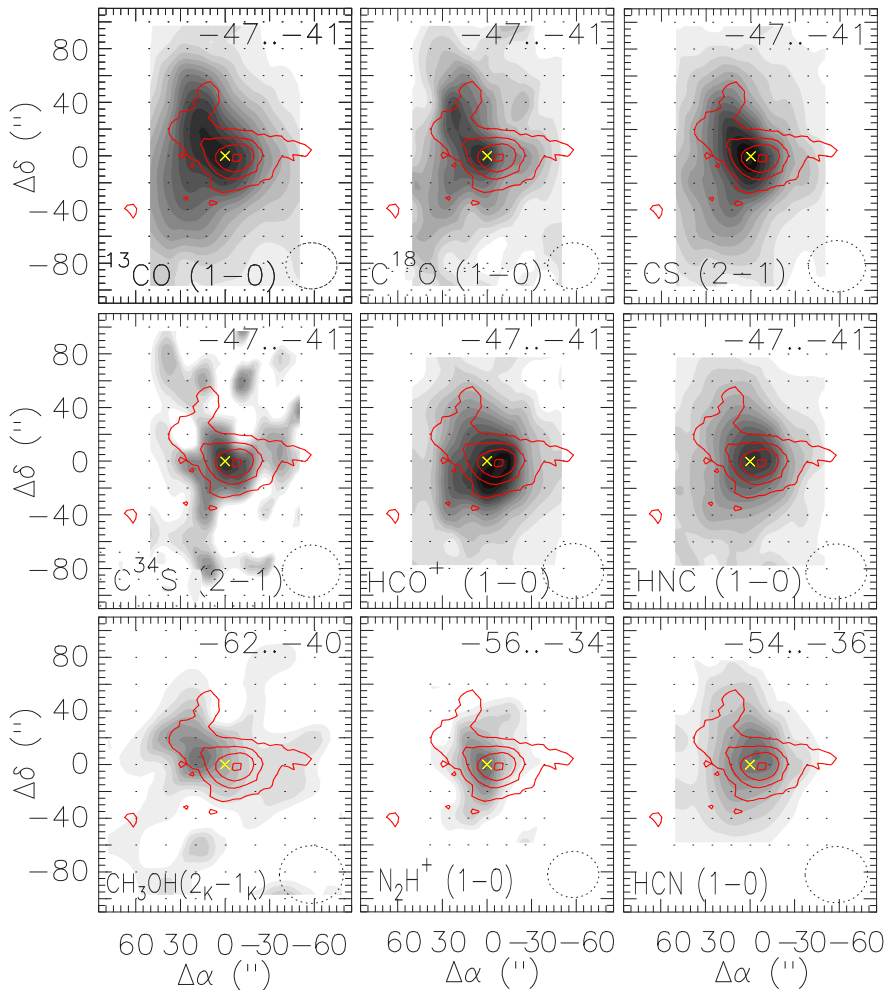


Рис. 1. Карты интегральных интенсивностей линий излучения молекул ^{13}CO (1–0), C^{18}O (1–0), CS (2–1), C^{34}S (2–1), HCO^+ (1–0), HNC (1–0), CH_3OH ($2_K - 1_K$), N_2H^+ (1–0), HCN (1–0). Градации серого — интегральные интенсивности в интервалах скоростей (приведены в верхнем правом углу); красные контуры — излучение пыли на 850 мкм [2]; желтым крестиком отмечено положение звезды

Результаты и обсуждение

Были построены карты распределения интегральных интенсивностей в линиях переходов молекул: ^{13}CO (1–0), C^{18}O (1–0), CS (2–1), C^{34}S (2–1), HCO^+ (1–0), HNC (1–0), HCN (1–0), N_2H^+ (1–0) и CH_3OH ($2_K - 1_K$) (рис. 1).

На картах излучения абсолютного большинства молекул, за исключением CH_3OH , пик излучения совпадает с положением звезды и пиком излучения в пыли. Пик излучения в квартете линий CH_3OH смещен к северо-востоку. Излучение в N_2H^+ распределено наиболее компактно, граница излучения этой молекулы лежит внутри более широких границ излучения изотопологов CO , молекулы CS и иона HCO^+ . Согласно [3], N_2H^+ считается индикатором внутренних областей облаков, что подтверждается и в нашем случае.

Для молекулы CH_3CCH было отождествлено 4 линии из серии $6_K - 5_K$ и 2 линии из серии $5_K - 4_K$. По этим линиям была построена вращательная диаграмма, представленная на рис. 2.

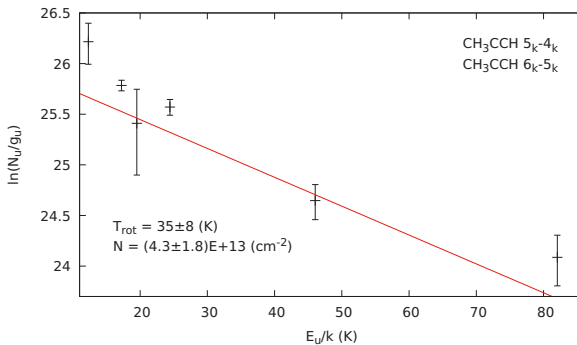


Рис. 2. Вращательная диаграмма по сериям линии $6_K - 5_K$ и $5_K - 4_K$ молекулы CH_3CCH

Оценка вращательной температуры $T_{rot} = 35 \pm 8$ К, полученная по диаграмме 2, в пределах погрешности совпадает с оценкой температуры пыли, 38 К, приведенной в работе [2]. Тепловое излучение CH_3CCH наблюдается при плотностях $n \approx 10^3 - 10^4 \text{ cm}^{-3}$ [4, 5]. При таких плотностях можем считать адекватным использование предположения об ЛТР и надежность полученного значения T_{rot} в качестве оценки кинетической температуры газа.

Полученная оценка температуры возбуждения газа $T_{rot} = 35 \pm 8$ К использовалась при расчете лучевых концентраций молекул, для которых отождествлены только одиночные линии. По данным ИК-обзора SASSY [6], оценена лучевая концентрация молекулярного водорода, $N_{\text{H}_2} = 2.2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, что позволило рассчитать значения обилий для 23 молекул $x = \frac{N_{\text{mol}}}{N_{\text{H}_2}}$. Полученные значения лучевых концентраций и обилий приведены в таблице.

Основываясь на сравнении полученных значений обилий молекул со значениями обилий молекул в облаках разных типов, мы пришли к выводу, что сгусток, окружающий V645 Cyg, имеет признаки как темного плотного облака, так и ФДО. Не исключено, что ФДО присутствует во внутренней области сгустка, поскольку V645 Cyg, будучи звездой типа Ae/Ве Херbiga, может являться мощным источником УФ-излучения. Признаки плотного облака могут наблюдаться из-за наличия в спектре излучения сложных молекул, которые не были разрушены УФ-излучением звезды. Скорее всего излучение сложных молекул было получено либо из остатков родительского молекулярного облака звезды, либо из внешней части интересующего нас сгустка.

Лучевые концентрации N и обилия $x = \frac{N_{mol}}{N_{H_2}}$ молекул

Молекула	N , (см ⁻²)	x
CO	$(4.4 \pm 0.1) \times 10^{18}$	2.1×10^{-4}
H ₂ CO	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{14}$	6.3×10^{-9}
CCH	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{14}$	5.7×10^{-9}
HCO ⁺	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^{14}$	4.8×10^{-9}
CS	$(9.1 \pm 0.6) \times 10^{13}$	4.3×10^{-9}
CH ₃ OH	$(9.0 \pm 7.0) \times 10^{13}$	4.2×10^{-9}
HCN	$(6.6 \pm 0.4) \times 10^{13}$	3.1×10^{-9}
N ₂ H ⁺	$(6.1 \pm 0.1) \times 10^{13}$	2.9×10^{-9}
CH ₃ CCH	$(6.0 \pm 2.0) \times 10^{13}$	2.9×10^{-9}
SO	$(3.7 \pm 0.1) \times 10^{13}$	1.8×10^{-9}
HNC	$(2.7 \pm 0.1) \times 10^{13}$	1.3×10^{-9}
H ₂ CS	$(7.0 \pm 0.7) \times 10^{12}$	3.3×10^{-10}
CH ₃ CHO	$(4.4 \pm 1.4) \times 10^{12}$	2.1×10^{-10}
HC ₃ N	$(3.8 \pm 0.1) \times 10^{12}$	1.8×10^{-10}
SO ₂	$(3.4 \pm 0.4) \times 10^{12}$	1.5×10^{-10}
CCS	$(2.6 \pm 0.2) \times 10^{12}$	1.2×10^{-10}
c-C ₃ H ₂	$(2.1 \pm 0.3) \times 10^{12}$	1.0×10^{-10}
HCO	$(2.1 \pm 0.6) \times 10^{12}$	1.0×10^{-10}
HNCO	$(1.6 \pm 0.1) \times 10^{12}$	7.6×10^{-11}
CH ₃ CN	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^{12}$	5.2×10^{-11}
DCO ⁺	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^{12}$	8.1×10^{-11}
DNC	$(4.4 \pm 0.9) \times 10^{11}$	2.1×10^{-11}
SiO	$(3.5 \pm 0.7) \times 10^{11}$	1.7×10^{-11}

Благодарности

Работа С. В. Салий (построение карт распределения интегральных интенсивностей, обсуждение результатов) выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2023-0019.

Библиографические ссылки

- [1] *Kalenskii S. V., Kurtz S.* Analytical methods for measuring the parameters of interstellar gas using methanol observations // *Astronomy Reports.* — 2016. — Vol. 60, № 8. — P. 702–717. 1710.07605.
- [2] *Sandell Göran, Weintraub David A., Hamidouche Murad.* A Submillimeter Mapping Survey of Herbig AeBe Stars // *Astrophys. J.* — 2011. — Vol. 727, № 1. — P. 26. 1011.3747.
- [3] *Bergin Edwin A., Alves João, Huard Tracy, Lada Charles J.* N₂H⁺ and C¹⁸O Depletion in a Cold Dark Cloud // *Astrophys. J. Lett.* — 2002. — Vol. 570, № 2. — P. L101–L104. astro-ph/0204016.
- [4] *Askne J., Hoglund B., Hjalmarson A., Irvine W. M.* Methyl acetylene as a temperature probe in molecular clouds // *Astron. Astrophys.* — 1984. — Vol. 130. — P. 311–318.
- [5] *Bergin Edwin A., Goldsmith Paul F., Snell Ronald L., Ungerechts Hans.* CH 3C 2H as a Temperature Probe in Dense Giant Molecular Cloud Cores // *Astrophys. J.* — 1994. — Vol. 431. — P. 674.
- [6] *Thompson M. A., Serjeant S., Jenness T. et al.* The SCUBA-2 “All-Sky” Survey // arXiv e-prints. — 2007. — P. arXiv:0704.3202. 0704.3202.